

Секция «Новые материалы и перспективные технологии обработки материалов»

– электродвигателя по рассчитанной мощности.

3) технологическому расчету доильной установки, который состоит из определения:

- потребного количества аппаратов;
- количества операторов для обслуживания всего поголовья;
- количества доильных установок и их производительности.

УДК 533.9; 621.793.6

Ермалицкая К.Ф.

МЕТОД СВЕРЛЕНИЯ МИКРООТВЕРСТИЙ В МЕТАЛЛАХ С ПОМОЩЬЮ СДВОЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Воронай Е.С.

Развитие надежных и мощных лазеров, работающих в импульсном и непрерывном режиме (Nd:YAG, CO₂-лазеры), позволило проводить с их помощью целый ряд технологических операций. К важнейшим процессам лазерной микрообработки следует отнести сверление микроотверстий, которое обладает целым рядом преимуществ по сравнению с существующими химическими и механическими методами: возможность воздействия на любые материалы (очень твердые, хрупкие, слоистые, жаропрочные, пластичные и др.) в любой атмосфере, процесс сверления может проводиться под любым углом к поверхности. Лазерное сверление применяется в различных областях техники: изготовление алмазных фильеров для волочения проволоки, рубиновых часовых камней, керамических прокладок для коаксиальных кабелей, подложек микросхем и печатных плат. К недостаткам относится вероятность образования брусвера из застывшего выплеска расплава материала, что ухудшает пространственное разрешение, чистоту и качество обработки [1]. В ряде теоретических и экспериментальных работ, посвященных лазерной микрообработке поверхности показано, что только импульсные лазеры, обеспечивающие постоянную плотность потока мощности q в обрабатываемой зоне, позволяют достичь стабильного качества сверления отверстий [3, 4].

Одним из перспективных направлений исследования взаимодействия лазерного излучения с поверхностью вещества является изучение воздействия сдвоенных лазерных импульсов с микросекундными интервалами на мишень. Важной особенностью данного метода является то, что второй из пары лазерных импульсов взаимодействует не только с поверхностью мишени, но и с эрозионной плазмой. Подбирая параметры лазерного

излучения, можно варьировать степень экранировки излучения второго импульса плазмой, влияя, таким образом, на форму, глубину и радиус кратера.

При проведении исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. В качестве источника возбуждения плазмы используется двухимпульсный неодимовый лазер, который может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов 15 нс. Временной сдвиг между сдвоенными импульсами изменяется с шагом $\Delta t=1$ мкс. Энергия накачки лазера E_n варьируется в пределах от 8 до 16 Дж, энергия импульса $E_{имп}$ – от 10 до 100 мДж.

Объектом исследований являлись образцы чистых металлов: меди, цинка, свинца и алюминия. В ходе проведения эксперимента на поверхность мишеней воздействовали серии лазерных импульсов с различным межимпульсным интервалом Δt (0, 1, 5 и 10 мкс). Энергия накачки лазера составляла 8, 10 и 12 Дж. Временной интервал 0 мкс соответствует одновременному воздействию на мишень двух лазерных импульсов. Глубина h и диаметр d кратеров определялся с помощью микроинтерферометра Линника МИИ-4, который позволяет наблюдать поверхность образца, увеличенную в 150 раз. Значение абсолютной приборной погрешности измерения глубина кратера $h \pm 3 \cdot 10^{-6}$ м, диаметра $d \pm 5 \cdot 10^{-6}$ м.

В ходе проведения эксперимента была исследована зависимость глубины и диаметра кратера от числа импульсов N в точку. Увеличение диаметра кратера происходит только в течение 7 первых импульсов при сверлении отверстия одиночными импульсами и в течение 3-4 импульсов для сдвоенных импульсов. Диаметр кратера линейно растет с увеличением энергии лазерного импульса.

«Чистая» лазерная абляция, т.е. взаимодействие лазерного излучения с поверхностью металлической мишени без образования бруствера на поверхности металла вокруг кратера возможно только при энергиях накачки ≤ 10 Дж (рис. 1). Увеличение энергии накачки лазера при сверлении микроотверстий оправдано лишь в случае, когда необходимо увеличить диаметр лунки, при этом принципиально повреждение поверхности мишени в области формирования кратера.

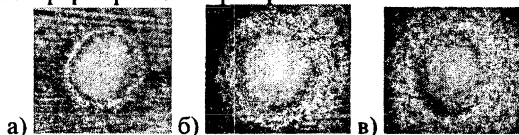


Рисунок 1 – Общий вид кратеров на поверхности медной мишени после воздействия серий лазерных импульсов с $\Delta t=1$ мкс и энергиями накачки:

а) 8 Дж, б) 12 Дж, в) 15 Дж

Секция «Новые материалы и перспективные технологии обработки материалов»

Самыми важными характеристиками лазерного сверления микроотверстий является зависимость глубины h от числа импульсов и форма кратера (рис. 2).

В ходе проведенного эксперимента было определено, что для достижения наибольшей параллельности стенок кратера необходимо воздействовать на поверхность мишени излучением с энергиями накачки 8 Дж. Увеличение энергии приводит к росту количества расплава внутри лунки. Жидкая фаза вытесняется на стенки кратера, где по мере продвижения вверх охлаждается и конденсируется. В результате получающийся кратер имеет конусообразную форму, кроме того стенки лунки покрыты застывшими каплями металла, образующими выступы и шипы.

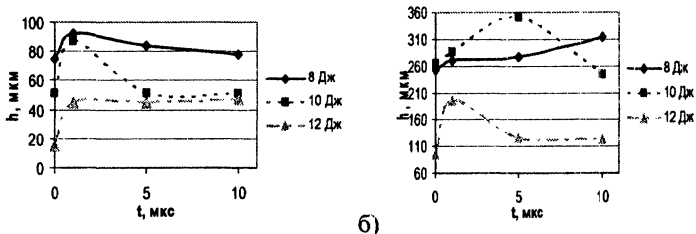


Рисунок 2 – Зависимость глубины кратера в металлической мишени из меди (а) и свинца (б) от энергии накачки лазера и временного интервала между двоянными лазерными импульсами

Исследования, проведенные для образцов 4-х металлов (медь, цинк, алюминий и свинец) показали, что в случае воздействия на поверхность мишени двоянных лазерных импульсов удается получить большую глубину кратера по сравнению с одиночными импульсами той же суммарной мощности, без изменения формы и диаметра лунки. При лазерном сверлении микроотверстий необходимо учитывать, что в условиях взаимодействия импульсов с большой энергией происходит значительный разогрев облучаемой зоны, причем температура в ней может превысить температуру плавления металла. Образовавшаяся перегретая жидкость вытесняется давлением паров со дна на стенки кратера и на поверхность мишени. Это приводит к изменению формы кратера с цилиндрической на конусообразную и образованию бруствера, т.е. снижается качество лазерной микрообработки поверхности. В этом случае с целью обеспечения высокого качества и воспроизводимости результатов обработки необходимо снижать энергию лазерного импульса. Если требования к точности обработки не очень велики, но принципиальным является увеличение диаметра кратера, то можно увеличивать энергию накачки лазера до 15 Дж, имея ввиду, что это приведет к значительному снижению скорости сверления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейко, В.П. Лазерная обработка / В.П. Вейко, М.Н. Либенсон. – Л.: Лениздат. – 1973. – 152 с.
2. Вейко, В.П. Лазерная микрообработка / В.П. Вейко. – С.-Пб.: Изд-во ИТМО. – 2005. – 100 с.
3. Горный, С.Г. Специфика поверхностной обработки металла сериями лазерных импульсов наносекундной длительности / С.Г. Горный [и др.] // Кв. электроника, 32, № 10. – 2002. – с. 929-932.
4. Токарев, В.Н. Выталкивание вязкой жидкости при наносекундной УФ лазерной абляции: от «чистой» обработки к наноструктурам / В.Н. Токарев // Лаз. физика. – т.16, № 9. – 2006. – с.1291-1307.

УДК 621.793.18

Каланда Д.С.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь*

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Иванов И.А.

Надежность деталей машин и приборов в значительной степени определяется не объемными, а их поверхностными свойствами. Широкие возможности управления составом, структурой, качеством поверхности и ее , химическими и физическими свойствами обеспечивает применение вакуумных плазменных методов, основанных на обработке поверхностей ускоренными ионными и плазменными потоками.

Цель работы – изучение технологического этапа генерации рабочего вещества вакуумных плазменных устройств и свойств формируемых плазменных потоков.

При создании плазменных устройств необходима организация трех основных стадий рабочего процесса: генерации (производство) атомарного потока вещества, его ионизации, ускорения и фокусировки. Пути организации двух последних стадий достаточно хорошо изучены – это техника плазменных ускорителей и источников ионов. Решение же многих технологических задач связано с необходимостью генерации потоков плазмы различных твердых веществ. В этом случае важное значение приобретает разработка простых и эффективных методов генерации вещества, т.к. характер протекания этого процесса оказывает сильное влияние на все последующие стадии и по существу определяет облик плазменного устройства. В основу классификации